引用格式：刘志华，贺红士，徐文茹，等．林火碳排放的影响与减缓对策．中国科学院院刊，2023, 38(10): 1552-1560, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20230823001.
Liu Z H, He H S, Xu W R, et al. Impacts of forest fire carbon emission and mitigation strategies. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2023, 38 (10): 1552-1560, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20230823001. (in Chinese)

林火碳排放的影响与减缓对策

刘志华[1] 贺红士[2] 徐文茹[1] 梁 宇[1] 朱教君[1*] 王高峰[1] 魏 伟[3] 王自发[4] 韩永明[5]

1 中国科学院沈阳应用生态研究所 沈阳 110016
2 东北师范大学 地理科学学院 长春 130024
3 中国科学院上海高等研究院 上海 201210
4 中国科学院大气物理研究所 北京 100029
5 中国科学院地球环境研究所 西安 710061

摘要 2002—2020年，全球野火每年约排放73.2亿吨二氧化碳（CO_2），为化石燃料排放CO_2的18.5%；其中，林火碳排放约占野火碳排放20%左右（15亿吨CO_2）。近年来，随着气候变化和人类活动加剧，林火释放的CO_2呈增加趋势。例如，2023年5月以来的加拿大林火，截至8月29日已累计排放12.68亿吨CO_2。我国在实现森林面积和蓄积量“双增长”的背景下，自2010年以来林火发生次数和面积显著减小，为减少林火碳排放、应对全球气候变化作出了重要贡献。鉴于林火已成为不可忽视的温室气体排放源，需要建立全面、客观、公正的碳排放监测与计量系统，兼顾人类活动（如化石燃料排放、工业排放）和自然林火碳排放；特别是通过采取减少林火发生频率、降低火灾强度等有效手段，降低林火碳排放。针对极端林火预测和防控的世界性难题，急需构建林火风险识别、预警-预测和防控技术体系，并加强林火过程碳排放研究，建立更加科学、全面、自主可控的碳核算体系。

关键词 野火，碳排放，气候变化，碳中和

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.20230823001

CSTR 32128.14.CASbulletin.20230823001

政府间气候变化专门委员会（IPCC）最新评估显示，自工业革命以来，由化石燃料使用和毁林等人为活动引起的碳排放，使大气二氧化碳（CO_2）浓度由工业革命前285 ppm增加至2022年的417 ppm，导致

*通信作者
资助项目：中国科学院稳定支持青年团队项目（YSBR-037），中国科学院沈阳应用生态研究所自主部署重大项目（IAEMP202201）
修改稿收到日期：2023年10月8日

全球平均温度增加了约1.1℃[1]。为了减缓以CO_2为主要温室气体浓度增加导致的气候变暖，国际社会先后制定了《联合国气候变化框架公约》（1992年）、《京都议定书》（1997年）、《哥本哈根协定》（2009年）、《巴黎协定》（2015年）、《格拉斯哥气候协议》（2021年）、《联合国气候变化框架公约》（2022年）等国际公约，确定了在21世纪末将气温升高控制在1.5℃的目标。作为碳减排的全球性重大行动，世界主要经济体先后公布了“双碳”（碳达峰、碳中和）减排目标。

中国是“双碳”行动的积极推进者，中国政府于2020年9月宣布，将争取在2030年“碳达峰”，2060年前实现“碳中和”（即CO_2净排放为0）。像中国这样一个正处在实现工业化和现代化进程中的大国，“碳达峰”与“碳中和”仅有30年间隔，必然面临着产业转型、技术升级和生态系统固碳增汇等方面的巨大挑战。当前，实现“碳中和”的主要路径包括减少化石燃料使用及土地利用变化导致的碳排放量（减排）、增加陆海生态系统碳吸收（增汇）及广泛使用碳捕捉与碳封存（CCUS）技术[2]。

增加生态系统碳汇是实现“碳中和”最绿色、经济和可行的途径。2012—2021年，全球陆地生态系统碳汇约为110亿吨CO_2/年，抵消约32%人类化石燃料碳排放，在实现“碳中和”目标中起着不可替代的作用[3]。然而，生态系统碳汇是脆弱的，除受到生态系统类型、土壤和气候因素的影响，还受到人为干扰的影响。

野火是全球生态系统中最重要的自然干扰过程之一，也是森林和草地面临的主要自然干扰类型，在陆地生态系统碳循环中起着重要作用[4-7]。火烧破坏地表植被，释放大量温室气体、颗粒物和其他痕量气体，加剧水土流失和空气污染，是影响全球环境和气候安全的重要驱动因子之一[8,9]。2002—2020年，全球野火年均排放（73.2±7.32）亿吨CO_2，约为化石燃料释放CO_2的18.5%，对大气CO_2浓度升高的贡献显著[10,11]。同时，野火碳排放量受气候变化的影响存在巨大的年际变化。例如，1997—1998厄尔尼诺年，野火的排放量高达117.12亿吨CO_2，而在2001—2009年，年均野火的排放量为58.6亿吨CO_2，因此野火碳排放是导致陆地碳汇变化的主要因素之一[12,13]。尽管火后植被恢复可以抵消一部分野火的直接碳排放，但在气候变暖、火烧轮回期变短，以及强度增加的背景下，植被需要更长的时间才能抵消碳释放。特别是在北方森林和热带雨林区，气候暖干化和人类活动导致森林火灾频率、面积和强度增加，林火碳释放量急剧上升，导致森林植被恢复需要上百年以上才能抵消林火导致的碳释放，滞后于气温升高控制在1.5℃的目标所设定的时间框架[14,15]。因此，在“双碳”的背景下评估碳核算体系，野火碳排放不容忽视。

1 林火碳排放在全球碳循环中的作用

1.1 全球森林火烧面积及碳排放趋势

野火主要发生在草原、稀树草原和森林三大生态系统中，而非洲大陆野火面积占全球火烧面积的3/4以上。卫星数据表明，2000年以来全球野火发生面积总体呈下降趋势，主要是农田管理导致非洲草原和稀树草原火烧面积降低。然而，全球林火呈上升趋势，特别是北美西部、澳大利亚等地区灾难性火灾频率增加[15]。林火占全球火烧面积约5%，但由于森林生物量高，林火碳排放占全球野火CO_2排放的20%，年均排放量约为15亿吨CO_2[16]。近年来，受气候变暖和人类活动的影响，林火排放的CO_2约以每年1%（约1 500万吨CO_2）的速度增长[16]，已成为不可忽视的碳排放源。

特别是北方针叶林①，随着气候变暖和干旱的加剧，林火发生频率呈显著增加趋势。2000—2020年，

① 北纬50°以北，主要包括西伯利亚落叶松林、加拿大亚寒带针叶林。

北方森林火灾碳排放为全球野火 CO_2 排放量的 10%；由于气候变暖，2021 年占比达 23%，释放了 17.6 亿吨 CO_2[17]。而且较少发生野火的高纬度苔原带地区也开始频繁火烧，导致冻土融化，加剧甲烷、氮氧化物等强温室气体排放。

1.2 林火发生的影响因素

林火的发生受到气象条件、可燃物特征和火源的影响[18,19]。气候变暖导致高温、热浪和干旱，造成可燃物水分含量下降，并增加大气雷暴频率，林火发生的频率、蔓延速度和能量释放也随之增加[20]。同时，温度升高有利于高纬度植物生长，增加了可燃物的载量，进一步增加林火强度。由于气候变暖存在“北极放大效应”（即高纬度地区的气候变暖速率高于全球平均），因此未来北半球高纬度地区的高温热浪和干旱事件可能会更频繁，极端野火发生的频率和强度可能持续增加[20,21]。气候变暖与野火碳排放之间的正反馈机制，可能使高纬度地区成为火烧碳排放的高发区域。

2 加拿大 2023 年极端林火碳排放估算及其影响

林火是北方森林中不可或缺的自然干扰过程，是维持森林生态系统多样性和健康的重要因子，它以从地面火到树冠火的多种形态调节森林生态系统的树种组成、年龄结构和空间（景观）格局。每年 5—10 月为加拿大林火活跃期。全球气候变化导致北美天气持续高温，2023 年春季加拿大部分省份气温较往年同期高，异常炎热干燥的气候增加了林火发生频率和强度。据加拿大森林消防中心数据②，截至当地时间 8 月 29 日，2023 年该国累计发生 5 900 处火灾，过火面积累计约 15 万平方公里。如此大规模、高烈度的林火可能导致生态系统的破坏和生物多样性的丧失，造成生态系统不可逆的退化。

火烧释放大量的颗粒物，随西风环流输送到美国及欧洲，造成严重的空气污染，危害美国、加拿大、欧洲甚至整个北半球人群健康。同时，林火释放大量的温室气体（CO_2、甲烷和氮氧化物），进一步增加大气温室气体浓度，加剧全球气候变暖，对国际气候治理和“双碳”减排目标造成困难。

2.1 林火碳释放估算的方法

计算林火碳排放量的方法主要有排放因子法、遥感观测法、模型模拟法、监测反演法等[12,22-24]。排放因子法、遥感观测法、模型模拟法等属于“自下而上”方法，主要通过火烧面积或辐射功率，结合生物量、燃烧系数、排放因子等参数计算消耗的可燃物生物量产生的不同温室气体的排放量，具有空间分辨率高（100 m^2—1 km^2）等优点，但是需要精确的火烧面积、生物量、排放因子等数据。监测反演法属于“自上而下”方法，主要基于大气观测的温室气体浓度和气象场资料，结合大气化学输送模型，通过数据同化方法，可以较快速地反演获得林火的排放量。然而，该方法空间分辨率低（> 0.25°）、受大气边界层影响难以量化 CO_2 排放的源汇变化。由于目前尚不能准确掌握加拿大过火区域的森林结构、林分密度、燃烧比例等信息，不同方法进行估算存在一定差异。

遥感数据是目前估算大尺度林火碳排放的有效手段[25]。本研究基于火烧碳释放强度的方法，可快速准确进行林火碳释放的初步评估。该方法首先通过全球林火碳释放数据库（GFED）③计算获得加拿大区域火烧碳排放强度图（图 1）。GFED 数据库是精度高、国际通用的林火碳排放数据集，是 IPCC 估算火烧碳释放的主要数据源；然后，结合遥感观测和加拿大国家发布的火烧数据，近实时估算火烧的累积碳释放量

② Canadian Interagency Forest Fire Centre. [2023-09-04]. https://ciffc.net/.
③ Global Fire Emissions Database. [2023-09-04]. https://www.globalfiredata.org/.

（图2）。林火碳释放的计算公式如下：

$$E_{FireC}=E_{intensity}\times S$$

$$E_{FireCO_2}=3.66\times E_{FireC}$$

其中，E_{FireC}为火烧碳释放（碳当量）；E_{FireCO_2}为火烧CO_2释放（CO_2当量）；$E_{intensity}$为加拿大区域火烧碳排放强度（图1）；S为火烧面积。

本研究利用哥白尼大气监测服务（CAMS）“全球火灾同化系统”（GFAS）④提供的火烧碳释放数据作为验证。GFAS是基于中分辨率成像光谱仪（MODIS）观测到的火灾辐射功率（FRP）数据，利用排放因子法将FRP转换为火灾消耗的干物质（DM），再结合发表数据，计算火烧碳排放量。GFAS已被广泛应用于监测火烧碳排放、空气质量预报及大气化学模拟，是国际权威火烧碳排放数据库之一[26]。

本研究估算，截至8月29日，2023年加拿大火烧已累计排放CO_2约12.68亿吨，低于CAMS的测算值（13.94亿吨）约9%，是2002—2022年同期CO_2平均排放量的5倍以上（图2）；该排放量已超过加拿大、

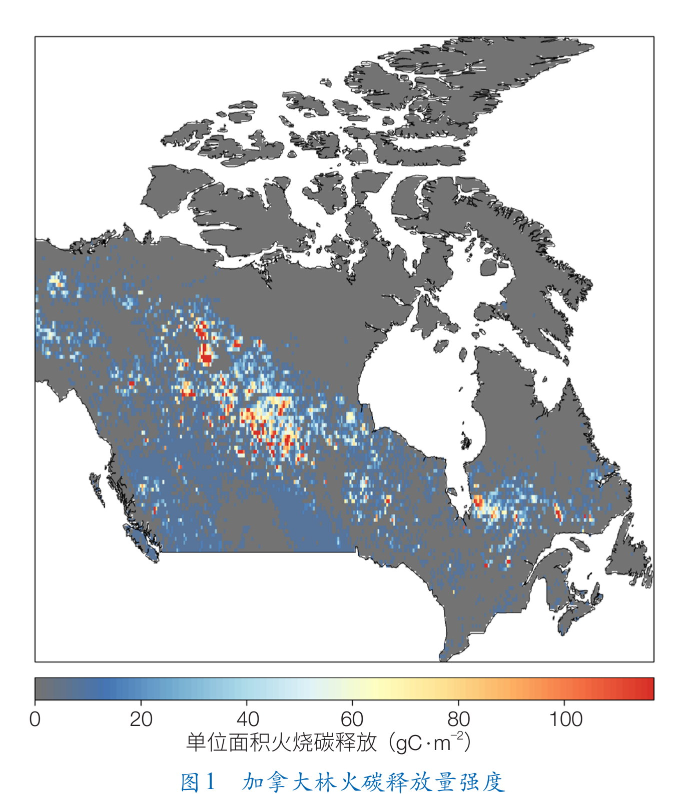


图1　加拿大林火碳释放量强度

Figure 1　Intensity of carbon emission from forest fire in Canada

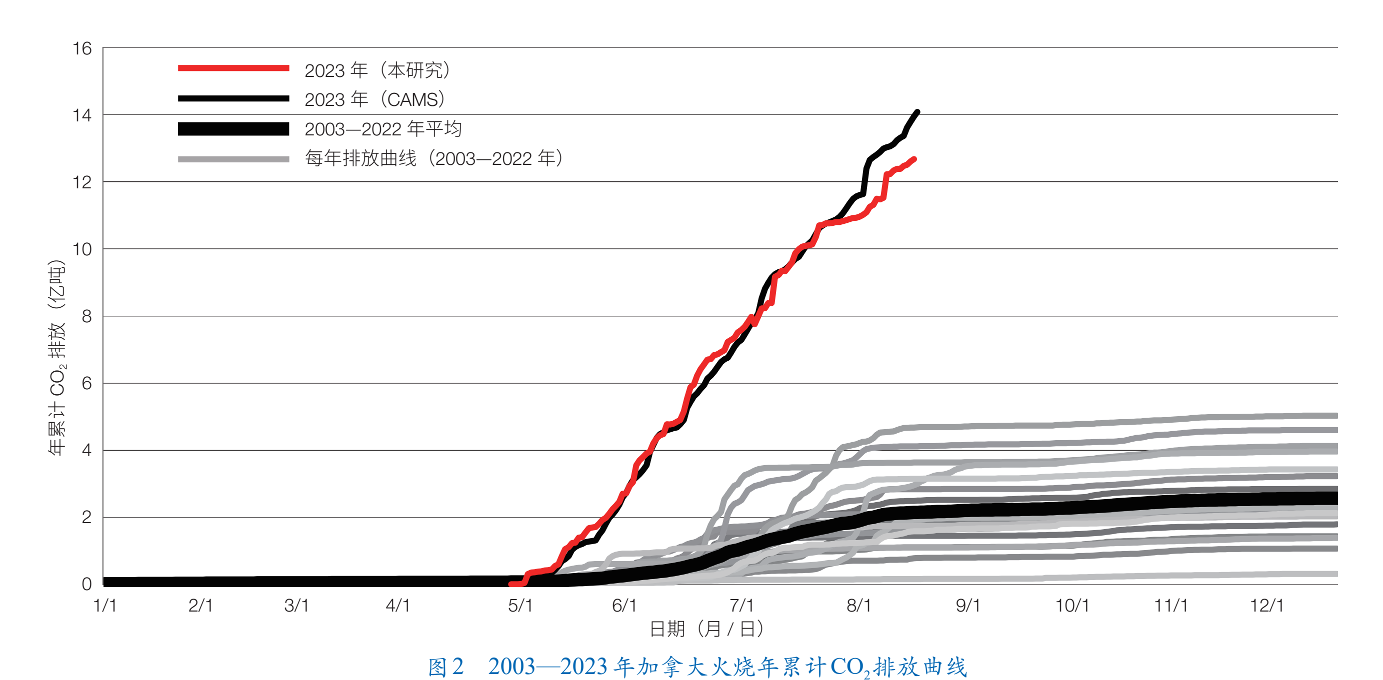


图2　2003—2023年加拿大火烧年累计CO_2排放曲线

Figure 2　Yearly cumulative CO_2 emission curve for fires in Canada from 2003 to 2023

④ The Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS). [2023-09-04]. https://atmosphere.copernicus.eu/.

德国2021年各自全年能源相关的CO_2排放量（据国际碳计划2022年的数据，加拿大、德国2021全年能源相关的CO_2排放量分别为5.46亿吨和6.74亿吨；其中，德国居全球第7位）。

2.2 加拿大林火对空气质量的影响

加拿大林火除释放CO_2、甲烷等温室气体，还产生大量颗粒物，包括细颗粒物（$PM_{2.5}$）、可吸入颗粒物（PM_{10}）、黑碳（BC），以及挥发性有机物（VOCs）等空气污染物；这些空气污染物对当地和下游地区空气质量的影响非常显著，直接影响人体健康。基于地球系统模式（IAP-AACM），本研究模拟了加拿大林火空气污染物对全球$PM_{2.5}$浓度的影响。结果显示，加拿大林火释放的$PM_{2.5}$受西风环流及天气动力作用，造成了长距离跨境传输，不仅影响美国东部，并跨过大西洋向西欧和欧亚大陆等人口密集区扩散，导致了大范围空气污染。影响较大的跨境传输过程主要有4次，分别为2023年5月17—26日、6月6—19日、6月23—30日、7月15—20日（图3）。这4次过程均显著影响到美国地区空气质量（$PM_{2.5}$浓度可达50微克/立方米以上），其中6月27—30日林火释放的高浓度$PM_{2.5}$显著影响欧洲地区（5微克/立方米以上）。加拿大林火对北非和亚洲地区$PM_{2.5}$浓度也有影响，且影响到我国西部地区，浓度贡献小于5微克/立方米。截至2023年7月20日，加拿大林火已造成超过300万平方公里陆地的$PM_{2.5}$超标，影响超过8 000多万人。

3 中国森林火灾碳排放现状

我国持续不懈的植树造林、森林保护等生态治理

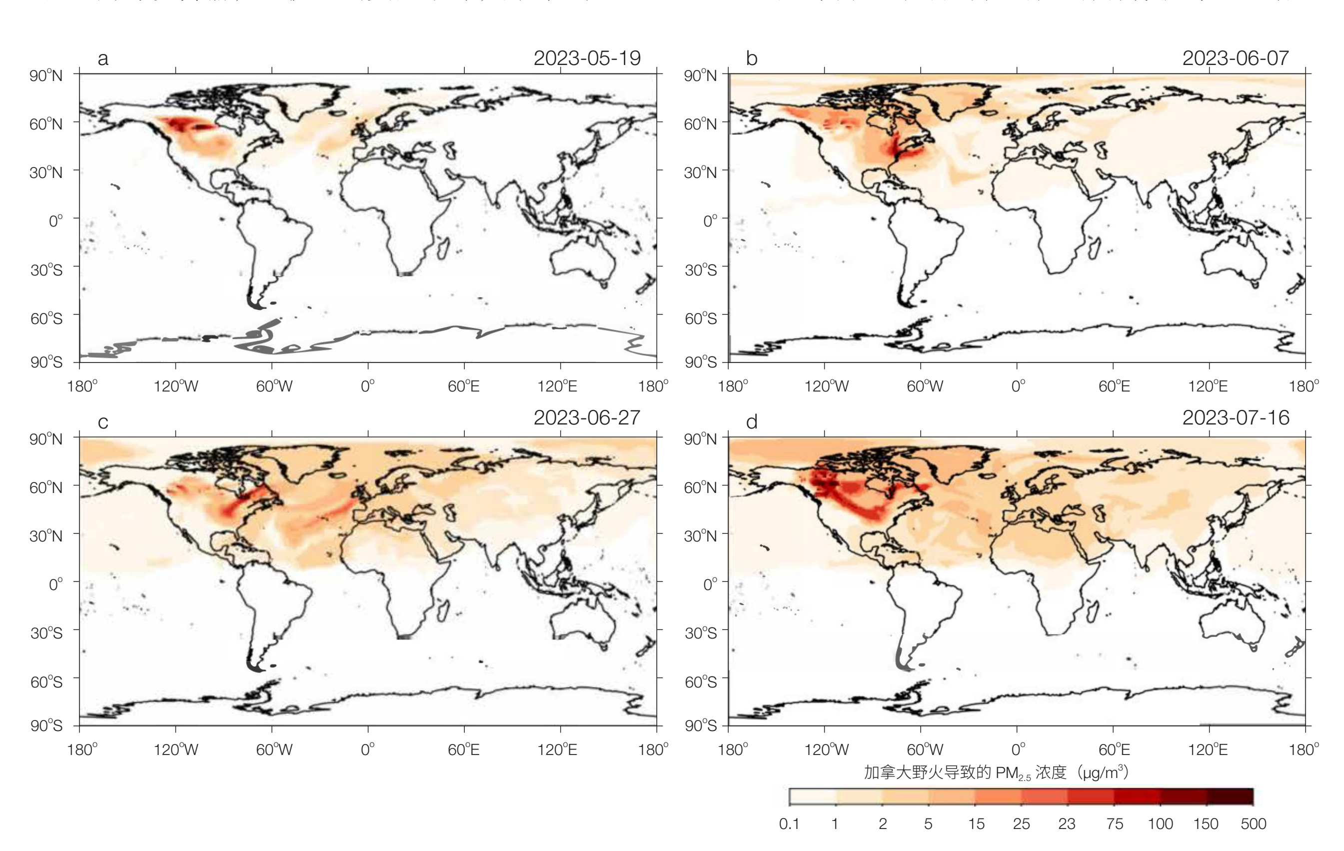


图3　基于地球系统模式模拟的加拿大林火对全球大气$PM_{2.5}$浓度的影响

Figure 3　Impact of Canadian forest fires on global atmospheric $PM_{2.5}$ concentrations based on Earth system model simulations

（a）2023年5月19日；（b）2023年6月7日；（c）2023年6月27日；（d）2023年7月16日

(a) May 19, 2023; (b) June 7, 2023; (c) June 27, 2023; (d) July 16, 2023

措施，实现了连续30多年森林面积和蓄积量“双增长”。根据第九次全国森林资源清查数据[27]，我国天然林面积1.4亿公顷，人工林面积0.8亿公顷，森林覆盖率约为23%。在2000—2017年全球新增绿化面积中，约1/4来自中国，贡献比例居全球首位[28]，为增汇贡献巨大。《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》提出，“十四五”时期，森林覆盖率提高到24.1%。

森林面积和蓄积量的不断增长，为固碳增汇、改善生态环境作出了巨大贡献，同时也对森林防火带来了巨大挑战。尽管面临自然因素和社会因素叠加的严峻挑战，在多方共同努力下，我国森林草原防火工作仍取得长足发展，火灾综合防控能力显著提升。2000—2021年，我国年均森林火灾次数为6 088±3 948次，其中95%以上为面积小于100公顷的火灾，森林受灾面积为（7.2±12.0）万公顷。特别是2010年以来，森林火灾次数和面积显著下降（图4）。森林火灾面积的降低，显著降低了林火碳排放的量。我国每年森林火灾碳排放量为（1 500±160）万吨CO_2。因此，我国实行的“增绿固碳”森林生态工程措施和“预防为主、防救结合”防火方针，为全球环境治理、增加碳汇和减少林火碳排放作出了巨大贡献。

4 加强林火碳研究，减少自然过程碳排放

林火已成为不容忽视的碳排放源，特别是近年来极端森林火灾事件频发（如2019年亚马孙林火、2019—2020年澳大利亚林火、2022年西伯利亚林火和2023年加拿大林火），直接排放大量温室气体。同时，林火通过加速冻土融化，也大量释放甲烷和氧化亚氮等强温室气体，其他火山、活动断裂也是温室气体排放

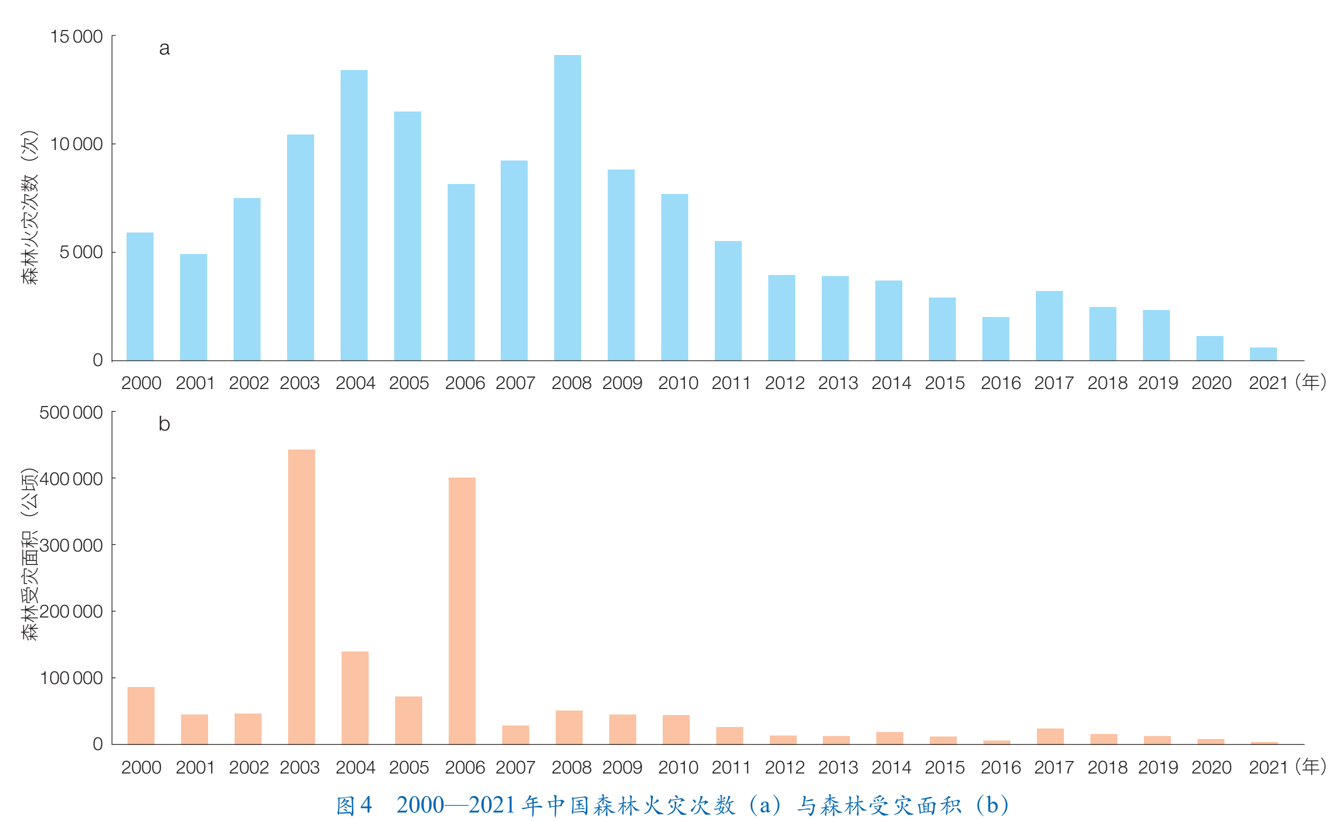


图4　2000—2021年中国森林火灾次数（a）与森林受灾面积（b）

Figure 4　Numbers (a) and areas (b) of forest fire in China from 2000 to 2021

数据来源：2000—2021年中国统计年鉴（http://www.stats.gov.cn/sj/ndsj/）

Data source: *China Statistical Yearbook* 2000–2021 (http://www.stats.gov.cn/sj/ndsj/)

源。因此，加强林火碳排放研究，减少自然过程碳排放刻不容缓。对此提出3点建议。

（1）将林火碳排放纳入国家排放清单。建立全面、客观、公正的碳排放监测与计量系统，同时兼顾人类活动（化石燃料排放、工业排放）和自然过程碳排放，将包括林火在内的自然过程所排放温室气体纳入国家排放清单，共同建立公平合理、合作共赢的全球气候治理体系。

（2）采取有效手段降低自然过程碳排放。虽然森林火灾的预测和控制是学术界和林业部门的难题，但是可以采取科学有效手段预防林火发生。例如，在森林中实施可燃物处理，降低可燃物载量，其处理方式包括计划火烧、机械清除、林分疏透和自然火利用、增加防火林带[29]。同时可以考虑调整森林的树种组成，形成具有抵抗林火的森林带，构筑天然的“绿色防火道”。2023年5月，我国出台的《关于全面加强新形势下森林草原防灭火工作的意见》体现了党中央、国务院化解重大森林草原火灾风险、全力维护人民群众生命财产安全和生态安全的决心。

（3）加强国际合作。极端林火的影响范围不局限于某一区域，已成为影响全球环境和气候治理的突发性事件，亟待各国高度重视；通过加强合作，共同应对，实施切实可行的措施，消减自然因素带来的碳排放。针对极端林火预测和防控的世界性难题，应组织科研人员进一步研究构建森林林火风险识别、预警预测和防控技术体系，并加强林火过程碳排放研究，建立更加科学、全面、自主可控的碳核算体系。

参考文献

1 IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Cambridge: Cambridge Press, 2021.

2 方精云. 碳中和的生态学透视. 植物生态学报, 2021, 45(11): 1173-1176.
Fang J Y. Ecological perspectives of carbon neutrality. Chinese Journal of Plant Ecology, 2021, 45(11): 1173-1176. (in Chinese)

3 Friedlingstein P, O’sullivan M, Jones M W, et al. Global carbon budget 2022. Earth System Science Data, 2022, 14(11): 4811-4900.

4 Bowman D M J S, Balch J K, Artaxo P, et al. Fire in the Earth system. Science, 2009, 324: 481-484.

5 Yang J, Tian H Q, Tao B, et al. Century-scale patterns and trends of global pyrogenic carbon emissions and fire influences on terrestrial carbon balance. Global Biogeochemical Cycles, 2015, 29(9): 1549-1566.

6 Clarke H, Nolan R H, De Dios V R, et al. Forest fire threatens global carbon sinks and population centres under rising atmospheric water demand. Nature Communications, 2022, 13: 7161.

7 van Lierop P, Lindquist E, Sathyapala S, et al. Global forest area disturbance from fire, insect pests, diseases and severe weather events. Forest Ecology and Management, 2015, 352: 78-88.

8 Bowman D M J S, Kolden C A, Abatzoglou J T, et al. Vegetation fires in the Anthropocene. Nature Reviews Earth & Environment, 2020, 1(10): 500-515.

9 Langmann B, Duncan B, Textor C, et al. Vegetation fire emissions and their impact on air pollution and climate. Atmospheric Environment, 2009, 43(1): 107-116.

10 van Wees D, van der Werf G R, Randerson J T, et al. Global biomass burning fuel consumption and emissions at 500 m spatial resolution based on the Global Fire Emissions Database (GFED). Geoscientific Model Development, 2022, 15(22): 8411-8437.

11 van der Werf G R, Randerson J T, Giglio L, et al. Interannual variability in global biomass burning emissions from 1997 to 2004. Atmospheric Chemistry and Physics, 2006, 6(68): 3423-3441.

12 van der Werf G R, Randerson J T, Giglio L, et al. Global fire emissions and the contribution of deforestation, savanna, forest, agricultural, and peat fires (1997–2009). Atmospheric Chemistry and Physics, 2010, 10(23): 11707-11735.

13 Gatti L V, Gloor M, Miller J B, et al. Drought sensitivity of Amazonian carbon balance revealed by atmospheric measurements. Nature, 2014, 506: 76-80.

14 Xu W R, He H S, Hawbaker T J, et al. Estimating burn severity and carbon emissions from a historic megafire in boreal forests of China. Science of the Total Environment, 2020, 716: 136534.

15 Wu C, Venevsky S, Sitch S, et al. Historical and future global burned area with changing climate and human demography. One Earth, 2021, 4(4): 517-530.

16 Zheng B, Ciais P, Chevallier F, et al. Increasing forest fire emissions despite the decline in global burned area. Science Advances, 2021, 7(39): eabh2646.

17 Zheng B, Ciais P, Chevallier F, et al. Record-high CO_2 emissions from boreal fires in 2021. Science, 2023, 379: 912-917.

18 Díaz-Avalos C, Peterson D L, Alvarado E, et al. Space-time modelling of lightning-caused ignitions in the Blue Mountains, Oregon. Canadian Journal of Forest Research, 2001, 31(9): 1579-1593.

19 Wotton B M, Nock C A, Flannigan M D. Forest fire occurrence and climate change in Canada. International Journal of Wildland Fire, 2010, 19(3): 253-271.

20 Flannigan M, Stocks B, Turetsky M, et al. Impacts of climate change on fire activity and fire management in the circumboreal forest. Global Change Biology, 2009, 15(3): 549-560.

21 Abatzoglou J T, Williams A P. Impact of anthropogenic climate change on wildfire across western US forests. PNAS, 2016, 113(42): 11770-11775.

22 Mouillot F, Field C B. Fire history and the global carbon budget: A 1°×1° fire history reconstruction for the 20th century. Global Change Biology, 2005, 11(3): 398-420.

23 Kaiser J W, Heil A, Andreae M O, et al. Biomass burning emissions estimated with a global fire assimilation system based on observed fire radiative power. Biogeosciences, 2012, 9: 527-554.

24 Zhang X Y, Kondragunta S, Roy D P. Interannual variation in biomass burning and fire seasonality derived from geostationary satellite data across the contiguous United States from 1995 to 2011. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, 2014, 119(6): 1147-1162.

25 殷丽, 田晓瑞, 康磊, 等. 林火碳排放研究进展. 世界林业研究, 2009, 22(3): 46-51.
Yin L, Tian X R, Kang L, et al. Research development of carbon emissions from forest fires. World Forestry Research, 2009, 22(3): 46-51. (in Chinese)

26 Peuch V, Engelen R, Rixen M, et al. The Copernicus Atmosphere Monitoring Service: From research to operations. Bulletin of the American Meteorological Society, 2022, 103(12): E2650-E2668.

27 国家林业和草原局. 中国森林资源报告(2014—2018). 北京: 中国林业出版社, 2019.
National Forestry and Grassland Administration. China Forest Resources Report (2014 – 2018). Beijing: China Forestry Publishing House, 2019. (in Chinese)

28 Chen C, Park T, Wang X H, et al. China and India lead in greening of the world through land-use management. Nature Sustainability, 2019, 2(2): 122-129.

29 贺红士, 常禹, 胡远满, 等. 森林可燃物及其管理的研究进展与展望. 植物生态学报, 2010, 34(6): 741-752.
He H S, Chang Y, Hu Y M, et al. Contemporary studies and future perspectives of forest fuel and fuel management. Chinese Journal of Plant Ecology, 2010, 34(6): 741-752. (in Chinese)

Impacts of forest fire carbon emission and mitigation strategies

LIU Zhihua[1] HE Hongshi[2] XU Wenru[1] LIANG Yu[1] ZHU Jiaojun[1*] WANG Geoff G.[1]
WEI Wei[3] WANG Zifa[4] HAN Yongming[5]
（1 Institutes of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China;
2 School of Geographical Sciences, Northeast Normal University, Changchun 130024, China;
3 Shanghai Advanced Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201210, China;
4 Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;
5 Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710061, China）

Abstract Between 2000 and 2020, global wildfires contributed to approximately 7.32 billion metric tons of carbon dioxide (CO_2) emissions, accounting for about 18.5% of CO_2 emissions released from fossil fuels. Forest fires alone contributed to around 20% of these wildfire emissions, approximately 1.5 billion metric tons of CO_2. Due to climate change and human activities, carbon emissions from forest fires are on the rise. For example, the 2023 Canadian fires have emitted 1.268 billion metric tons of CO_2 up to August 29th. Despite the simultaneous increase in forest area and volume, the frequency and extent of forest fires have significantly decreased in China since 2010, which has made a significant contribution to global carbon emission reduction. Given forest fires have become a significant global carbon emission source, a comprehensive, objective, and fair carbon emission monitoring and accounting system that considers carbon emissions from both human activities and forest fires should be established. At the same time, effective measures should be taken to reduce the occurrence frequency and intensity of wildfires to lower carbon emissions from forest fires. To address the challenges of predicting and preventing extreme forest fire behavior, it is essential to develop a forest fire risk identification, early warning, prediction, and prevention technology system. Additionally, research should be devoted to carbon emissions from wildfires, aiming to establish a more scientific, comprehensive, and domestically controllable carbon accounting system.

Keywords wildfire, carbon emission, climate change, carbon neutrality

刘志华 中国科学院沈阳应用生态研究所研究员。主要研究领域：森林火灾、碳循环等。E-mail: liuzh@iae.ac.cn

LIU Zhihua Ph. D. in Ecology, Professor of Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences (CAS). His research focuses on forest fire, carbon cycle, etc. E-mail: liuzh@iae.ac.cn

朱教君 中国科学院沈阳应用生态研究所研究员。主要研究领域：森林生态学等。E-mail: jiaojunzhu@iae.ac.cn

ZHU Jiaojun Ph. D. in Ecology, Professor of Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences (CAS). His research focuses on forest ecology, etc. E-mail: jiaojunzhu@iae.ac.cn

■责任编辑：岳凌生

*Corresponding author